

テラヘルツ波伝送用誘電体装荷中空光ファイバの伝送特性に関する研究

著者	柴田 諒介
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	89
号	1
ページ	238-239
発行年	2020-08-31
URL	http://hdl.handle.net/10097/00129086

修士学位論文要約（令和2年3月）

テラヘルツ波伝送用誘電体装荷中空光ファイバの伝送特性に関する研究

柴田 諒介

指導教員：高橋 信

Transmission Characteristics of Dielectric-loaded Terahertz Hollow Optical Fibers

Ryosuke SHIBATA

Supervisor: Makoto TAKAHASHI

Hollow optical fibers with an inner dielectric film are proposed for transmission of THz waves with frequencies of around 1 THz. To fabricate the fibers, firstly a thin-film tube of polymer is made by drawing technique and in the next step, a silver film is deposited on it by sputtering method. The transmission characteristics are investigated by THz time-domain spectroscopy (TDS) and as a result, the fibers show low-loss characteristics in 1.0 - 1.6 THz. In addition, investigation on the mode properties of the fiber reveals that mode coupling between two low-order modes and the coupling efficiency of the input THz beam affect the transmission properties of the fibers. Considering these results, finally, a fiber having a larger diameter is fabricated for low loss transmission of lower-frequency THz waves.

1. はじめに

電波と光波の中間の周波数帯に存在するテラヘルツ(THz)波は、近年フェムト秒レーザーを用いたテラヘルツ時間領域分光法(THz-TDS)などの開発が進み、光源の広帯域化・高出力化に伴い検出・分光技術やその応用分野も急速に発展してきている。THz波は安全性が高く、物質に対する透過性にも優れており、さらに多くの物質がテラヘルツ帯域に固有の吸収スペクトルを持つために、物体の透視イメージングや分光分析による物質の同定など幅広い応用が検討されている。

本研究では特定の周波数帯域で高効率な THz 波の導波が可能である誘電体装荷中空光ファイバを製作し、更なる低損失化に向けた伝送特性の解析を行った結果を示す¹⁾。

2. 誘電体装荷中空光ファイバの製作

ファイバの製作は二段階に分けて行った。まず第一段階となる線引き工程の概略図を図1に示す。

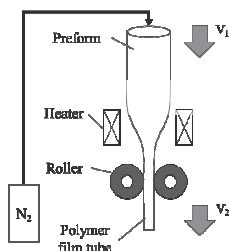


図1 線引き工程概略図

プリフォーム(母材)には屈折率 $n = 1.5$ の低密度ポリエチレンパイプを用い、 185°C に加熱した電気炉で軟化させ内部から窒素ガスで加圧しつつ延伸することで内径 2.2 mm、膜厚 $34\text{ }\mu\text{m}$ の誘電体薄膜チューブを形成した。その後第二段階としてスパッタリングにより表面に銀薄膜を製膜し、完成したファイバを次章で測定対象とした。

3. ファイバ伝送損失測定と評価

測定系には図2に示すテラヘルツ時間領域分光法(THz-TDS)を用いた。

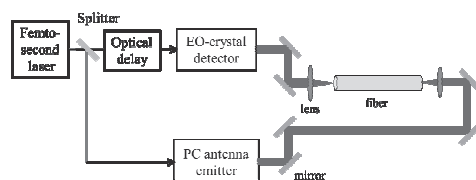


図2 測定系概略図

光源はフェムト秒レーザーであり、水蒸気吸収の影響を低減するため窒素ガスで測定系全体をパージし、湿度 5% 以下の状態で測定を実施した。測定から得られた本ファイバ 30 cm の伝送損失スペクトルと理論伝送損失値との比較図を図3に示す。この結果、1~1.6 THz の範囲において比較的低損失な伝送特性を獲得することができた。しかし特に 2 THz 周辺では複数の損失ピークが発生しており、これはモード間干渉に由来するものと推

察されたため、群速度分散の導出と評価を行った。

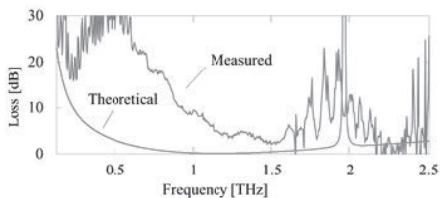


図3 ファイバ伝送損失スペクトル

TDS での測定から得られる位相情報を用いて導出した群速度分散を図4に示す。

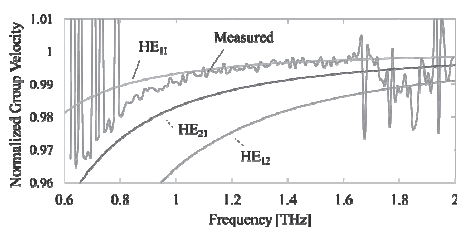


図4 群速度分散評価結果

この図から、比較的低損失であった1~1.6 THzの範囲では HE₁₁ モードでのシングルモード伝送が問題なく行えていることが確認できた。しかし、2 THz 周辺では高次モードへの遷移が予想される結果となったため、HE₁₂ モードのモード間干渉を考慮した伝送損失の算出を行った結果を図5に示す。

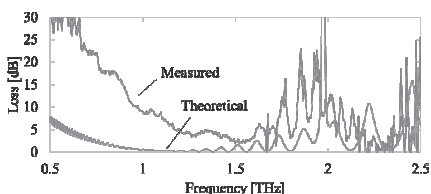


図5 モード間干渉を考慮した伝送損失

この結果、測定値によく一致する干渉縞を得られたため、この2 THz 周辺の損失ピークは HE₁₂ モードの干渉によるものであったと結論付けた。

4. 更なる低損失化に向けた検討

以上の結果を受けて、更なる低損失化に向けた検討を行った。低周波数領域における波形の揺らぎを含む結合損失はファイバ端部の構造不正が大きな要因であると考えられたため、微小曲がり

を抑制したファイバ製作を行った。ファイバに装着する保護チューブを外径2.8 mmから2.6 mmに製作し直し、ファイバの直線状態をよく保持して再度測定を行った結果を図6に示す。

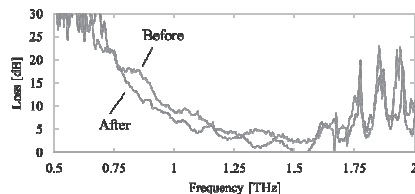


図6 微小曲がり抑制ファイバ伝送損失

この結果、主に1 THz 以下で起きていた波形の揺らぎを縮減し、全体的な結合損失も低減させることができた。また、1 THz を中心とした低周波数領域における活用を目的とし、新たに内径3.3 mmの大口径ファイバの製作と伝送損失測定を行った結果を図7に示す。

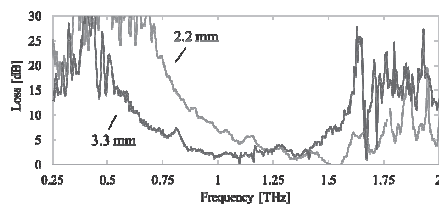


図7 大口径ファイバ伝送損失

図から分かるように、ファイバの大口径化を行うことで1 THz を中心に結合損失・伝送損失とともに改善することができ、低周波数領域でのファイバ大口径化の有意性を確認することができた。

5. まとめ

本研究では THz 波応用のための誘電体装荷中空光ファイバの製作方法として線引きとスパッタリングからなる新たな手法を提案し、目標値をほぼ満足する内径2.2 mm、誘電体膜厚34 μmのファイバ製作に成功した。このファイバについて THz-TDS を用いた損失測定の結果1~1.6 THz の範囲で比較的低損失な伝送特性を得、検討の結果結合損失や HE₁₁ - HE₁₂ モードの干渉の影響を確認し、更なる低損失化を実現する内径3.3 mmのファイバ製作に成功した。

文献

- 1) Y.Matsuura and E.Takeda, J. Opt. Soc. Am. B 25, 1949(2008)